

유동 가시화와 LDV 측정을 이용한 흡기계 내의 유동장에 관한 실험적 해석

An Experimental Analysis of the Flow Field in an Air Induction System by Flow Visualization and LDV Measurements

유 성 출*
Seoung-Chool Yoo

ABSTRACT

To describe the air flow characteristics within an air cleaner cover and mass air flow sensor (MAFS) entry region installed in a 3.0L engine air induction system, flow visualization, velocity and turbulence intensity measurements were taken in several view planes. A detailed knowledge of the interaction between the design parameters and the flow structures will enhance our understanding of the motions within the flow field and enable engineers to optimize the induction system and reduce the signal-to-noise ratio in the MAFS output. Emphasis is placed on the analysis of coherent motions and the controlling parameters which affect the air flow in the MAFS entrance region over a flow rate of 13-240 kg/hr.

The high speed motion pictures illustrated that the air flow generated within the air cleaner cover under steady state condition is quite complex. In both axial and radial planes of the main passage it was found that the flow pattern is remarkably influenced by the air cleaner cover and main passage configuration. A comparison of the flow patterns and measurements in the original and modified air cleaner cover is presented. Measurements from the MAFS indicated a significant reduction in pressure drop and signal noise for the modified cover as compared with the original cover, over an air flow rate of 13-240 kg/hr.

주요기술용어: Air induction system(흡기계), Mass air flow sensor(질량 에어플로우센서), Flow visualization(유동 가시화), Air cleaner cover(에어클리너커버), Main Passage(주 유로), Bypass inlet(바이패스 입구)

* 회원, 한라대학교 기계공학부

1. 서 론

에너지 자원의 고갈과 배기가스 규제 등장으로 고성능 기관에 대한 기술개발 경쟁이 갈수록

치열해지고 있다. 따라서 가솔린 기관의 경우, 연비나 열효율은 물론 배출가스 청정화에 많은 장점을 가지고 있는 전자제어 가솔린 분사(electronically controlled gasoline injection) 기술은 고성능 기관에 대한 기술개발에서 매우 중요하게 취급되고 있는 실정이다. 가솔린 분사 기관에서는 흡기관이나 흡기 매니폴드 또는 연소실 내에 직접 연료가 분사되며, 혼합기가 공급될 때에는 각 운전조건에 대하여 최적의 결과가 지속적으로 얻어지기 위하여 공연비(air-fuel ratio)가 정확하게 조정되고 완전연소 될 수 있을 것 등의 요구를 만족시킬 수 있어야 한다. 공연비를 제어할 수 있다고 하는 것은 전자제어 가솔린 분사 기술이 가지는 최대의 장점이며 흡기 온도 변화 즉, 공기의 밀도 변화에 대하여도 공연비 보정을 적절히 할 수 있다는 특징이 있다.

전자제어 가솔린 분사 기술에서 공연비를 정밀도 높게 조절할 수 있다는 것은 흡입 공기량을 정확히 검출하는 것으로부터 가능하므로 정확한 공기량의 계측은 매우 중요한 핵심기술의 하나이다. 이러한 기술은 고도의 신뢰성과 정밀한 연료 제어를 가능하게 하므로 엔진의 고출력 설계와 연소시 발생하는 배출가스 생성제어에 있어서도 대단히 중요하다.

자동차에 응용되는 공기 질량유량 계측(air mass flow measurements)에는 여러 가지 방법이 알려져 있으나 정확한 공기량의 계측은 흡기계의 형상 및 엔진 운전상태 등에 매우 민감한 영향을 받고 있다. 계측방법은 유체의 유동특성에 기초를 두고 있으며 W.G. Wolber¹⁾와 R.Sauer²⁾에 의하여 잘 묘사되고 있다. 대기압과 흡입 매니폴드 내의 압력차이(Δp)를 이용하여 공기 질량유량(\dot{m})을 계측하는 방법은 Zias³⁾에 의하여 소개되었으며, Dell'Acqua⁴⁾ 등은 Ultrasonic을 이용한 방법을 질량 유량계에 응용하였다. 열선(hot-wire)을 이용한 방법은 Schledde⁵⁾를 비롯한 여러 논문에서 잘 묘사되어 있다.

에어클리너(air cleaner)에서 클리너엘리먼트(element)를 통과한 흡입 공기량은 에어플로우 미터(air flow meter)에 의하여 계측된다. 최근 가장 많이 사용되고 있는 공기량 계측방법에는 질량에어플로우센서(mass air flow sensor, MAFS)를 이용한 방식과 매니폴드 절대압센서(manifold absolute pressure sensor, MAPS)를 이용한 방식이 있다. 열선을 이용한 MAFS 방식에 의한 계측은 질량 유량에 대응하는 출력을 직접 얻을 수 있기 때문에 보정 등의 후처리가 필요하지 않으며, 흡입 공기량의 변화에 충분히 추종될 수 있는 응답성이 있으므로 과도성능이 우수하고, 열선의 유량에 대한 적응성이 넓은 범위에서 가능하므로 계측될 수 있는 흡입 공기량의 범위도 매우 우수하다. 이상과 같이 MAFS를 이용한 방식은 성능면에서 우수한 점이 많아 에어플로우미터의 주류를 이룰 것으로 예상된다.

에어플로우미터는 설치 장소가 에어클리너 후류이어서 에어클리너에 직접 부착되는 경우가 많고 그 부착방법과 후류 부분의 형상에 따라서는 유선이 균일하게 되지 않아서 유량을 정확하게 계측하지 못하는 경우가 대단히 많다. 또한 MAFS 방식에서는 열선과 온도센서를 바이패스 유로(bypass passage) 내에 설치해야 하기 때문에 전체 공기량을 바이패스 유로를 통과하는 일부분의 유동장으로부터 계측하여야 한다. 따라서 바이패스에서 얻어지는 유동정보로부터 전체 공기량을 정확히 계측하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 잘못된 공기량 계측에 의하여 분무된 연료는 엔진효율 저하 및 불완전 연소를 유발하게 되므로 유해 배기가스 저감 및 저연비 엔진개발을 위해서는 MAFS 유닛의 특성분석과 동시에 연소 공기량 계측오차를 최소화 할 수 있는 센서 주위 특히 에어클리너 후류에서의 유로형상 최적화 기술이 요구된다.

본 연구는 가장 일반적인 형상의 흡기계 즉, 에어클리너 옆 또는 앞부분으로 공기가 흡입되어 수직 방향으로 상승하면서 클리너엘리먼트를 통과한 후, 에어클리너커버(air cleaner cover)에

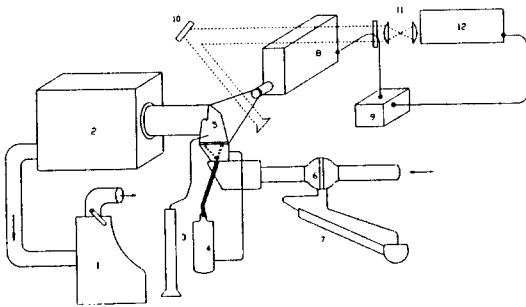
의하여 90도 회전하여 방향을 바꾼 후 에어플로 우미터를 통과하는 흡기계 내의 유동장 특히 MAFS유니트의 정확한 공기량 출력(output)에 직접적인 영향을 미치는 유동장을 분석하였다. 분석 결과 MAFS유니트의 정확한 출력에 가장 많은 영향을 미치는 에어클리너 후류부분 즉, 에어클리너커버와 MAFS유니트 입구를 형상 최적화를 통하여 제작하였으며 실험결과를 비교하였다.

연구 결과는 흡기계 설계에 중요한 자료로 제공되며 필요에 따라서는 새로운 흡기계 형상을 개발하는 계기가 될 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 정상상태 흡기계 어셈블리

에어클리너와 MAFS유니트 내의 유동장을 분석하기 위하여 고속 유동 가시화와 LDV(laser Doppler velocimetry) 측정을 정상상태 실험조건(steady state condition)에서 수행하였다. 실험장치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 3.0L 엔진



1.Spencer centrifugal blower with throttle 2.Plenum(1.22 x 2.13 x 2.44m) 3.Manometer with probe 4.Smoke generator with seeding tubes 5.F induction system 6.Laminar flow air element 7.Inclined manometer 8.Nac E-10/EE high speed camera 9.Synchronization timing system 10.Mirrors 11.Cylindrical lenses 12.Copper vapor laser

Fig. 1 Air flow induction and visualization system

에 사용하고 있는 흡기계와 정상상태 유동장을 만들기 위한 장치로 구성된다. 흡기계 내의 유동장을 해석하기 위해서는 유동에 영향을 미치지 않는 가시화 입자의 공급방법 개발과 유동을 관찰할 수 있는 가시화 기술이 매우 중요하다. 에어필터커버와 MAFS유니트는 구조 특성상 유동을 가시화 하는데 매우 큰 어려움이 있다(Fig. 2). 이러한 문제를 해결하기 위하여 내부 유동관찰이 가능한 에어필터커버와 MAFS유니트를 특별히 제작하였다.

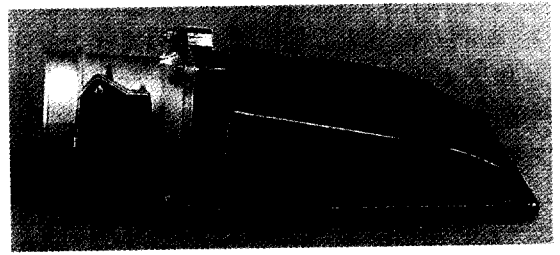


Fig. 2 Original air filter cover and MAFS unit assembly

에어필터커버와 센서유니트를 프리넘(plenum)에 설치하기 위하여 MAFS 뒤의 주유로(main passage)를 150mm 더 길게 만들었으며 끝 부분에 플랜지를 부착하였다. 플랜지는 O-ring과 볼트를 사용하여 프리넘에 고정되며 실험장치 내의 공기유동을 위하여 4단 원심 송풍기를 플랜지의 반대쪽에 설치하였다. 실험장치 내의 유량은 송풍기의 하류에 설치된 트로틀플레이트(throttle plate)의 각도를 변화시킴으로써 조절되며, 에어클리너 어셈블리 상류에 설치된 Meriam Laminar Air Flow Element (LAFE, Model 50MCZ-4)를 이용하여 유량을 측정하였다.

유동 가시화 및 LDV에 필요한 입자는 클리너 엘리먼트 표면(143 x 273 mm)에 타원형 구리튜브(12.7 x 5 mm)를 여러 위치에 설치하여 공급하였다. 유동에 입자를 공급할 때 발생하는 교란

을 방지하고 튜브로부터 나오는 공기의 속도가 클리너엘리먼트를 통과하는 공기의 속도와 같게 유지하기 위하여 크랭크케이스 브리더(crank case breather)로부터 입자 발생장치 입구를 연결하였으며, LDV 측정을 통하여 클리너엘리먼트 표면과 튜브에서의 속도를 확인하였다.

2.2 유동 가시화 시스템

유동 가시화 시스템은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 40W 구리 증기 레이저(copper vapor laser, CVL model No. 451), 거울, 원통형 렌즈, 고속 카메라, 동기계(synchronization system), 광산란 입자 공급장치로 구성되어 있다. CVL은 평균 40W의 출력을 내는 Metalaser Technologies 제품으로 펄스(pulse) 속도가 5000pps(pulse per second)일 때 펄스당 8mJ의 에너지를 방출하며, 펄스속도는 4000-6000pps 범위에서 조절될 수 있고 펄스 지속 시간은 약 30ns이다.

직경 50.8mm인 레이저빔(laser beam)을 한 번의 길이가 101.6mm인 4각 실린더 렌즈에 통과시키고 초점 거리가 200mm인 실린더 거울을 사용하여 고속 유동 가시화에 충분한 약 1.5mm 두께의 레이저시트(laser sheet)를 만들었다. 이 레이저시트를 에어필터커버를 통과하도록 하여 공기와 함께 들어오는 스모크입자(smoke particle)를 가시화 하는데 사용하였다. 또한 유동 가시화 입자의 영상화를 위하여 Nac E-10/EE 16mm 고속 회전 프리즘 카메라와 코닥 텅스텐 필름을 사용하였다. 고속 카메라에는 레이저펄스와 5000fps(frames per second)의 필름프레임속도(film frame rate)를 동기하기 위하여 Trigger pulse generator와 Optical pick-up을 설치하였다.

2.3 레이저 도플러 유속계(Laser Doppler Velocimetry, LDV)

정량적인 유동해석은 유동현상을 세부적으로

묘사하는데 매우 중요하다. 고속 유동 가시화는 정성적 분석의 중요한 정보를 제공하지만 국부적인 유동장의 정량적인 정보를 제공하지는 못한다. 따라서 고속 유동 가시화의 결과를 분석한 후 LDV 측정을 필요한 측정 단면에서 실시하였다.

2차원(two-component) LDV시스템은 4W Ar-Ion레이저와 TSI 제품의 렌즈, 프리즘, Receiving optics, 신호 처리장치(digital burst correlator, IFA750), Bragg-cell frequency shifter, 이송장치 그리고 데이터 취득을 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 산란 입자로서는 Propylene glycol(평균입경: 0.5-0.8 μ m)을 사용하였으며 후방산란(back scatter) 방법을 이용하였다.

3. 유동 가시화 결과 및 LDV 측정

흡기계 내의 유동으로부터 발생하는 소음과 압력저하 손실을 줄이고 에어클리너 후류의 유선을 균일하게 유지하여 MAFS유니트의 출력이 정확한 흡입 공기량을 나타낼 수 있도록 개선된 에어클리너커버를 제작하였다. 개선된 에어클리너커버와 원 사양 에어클리너커버의 기하학적 형상 차이는 Fig. 3에 잘 표현되어 있으며, 두드러진 특징은 원 사양 에어클리너커버에서의 날카로운 기하학적 형상이 유선형의 곡선으로 대체된 것이다.

원 사양 에어클리너커버와 개선된 에어클리너커버의 성능을 비교하기 위하여 자동차회사의 실험결과를 이용하였으며, 개선된 에어클리너커버의 정량적인 유동해석과 바이패스유로의 최적위치를 설정하기 위하여 LDV측정을 실시하였다.

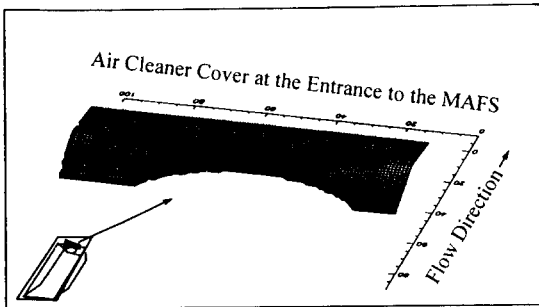
3.1 유동 가시화

에어클리너커버와 MAFS주유로 내부에서 유동 가시화를 실시하였으며 이 때의 유량범위는 13-240kg/hr이었다.

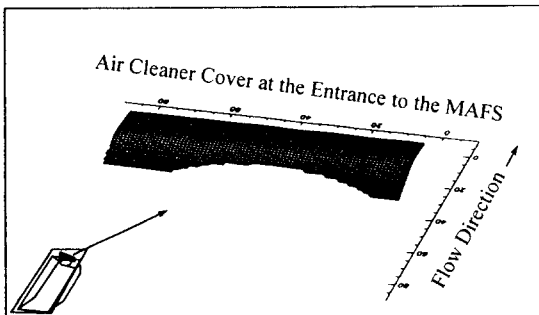
1) 원 사양 커버(original cover): 유동 가시화를 이용한 원 사양 에어클리너커버의 유동분석

결과 클리너엘리먼트 위에 있는 날카로운 커버의 코너와 주유로의 입구 부분에서 고도의 유동난동이, 커버 위 부분 벽에서는 유동박리가, 바이패스 입구 주위에서는 불안정한 유동이 지속되는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 바이패스의 부분적인 유동장으로부터 연소 공기량을 정확히 계측하는 것이 매우 어렵다는 것을 알 수 있었으며 결과적으로 제작회사로부터 의뢰된 연비와 열효율의 향상 및 유해 배기가스 저감을 위한 흡기계 개선작업의 필요성을 공감할 수 있었다.

2) 개선된 커버(refined cover): Fig. 4는 공기 유량 13kg/hr(LDV 측정면 중심 부분에서의 유속범위: 0.87-0.92 m/s)에서 바이패스유로 중심선을 지나고 클리너엘리먼트 표면에 수직한 면에서의 유동장을 나타내며 부분적으로 발생하는 와류와는 관계없이 잘 정돈된 유동의 특성을 나타내고있다. 관찰되는 와류는 매우 약하며 MAFS 유닛 상류에 영향을 거의 미치지 않았다.



(Original cover)



(Refined cover)

Fig. 3 Sectional views of original and refined covers



Fig. 4 Flow field in a plane passing through the centerline of the bypass passage and perpendicular to the air filter surface with a flow rate of 13 kg/hr

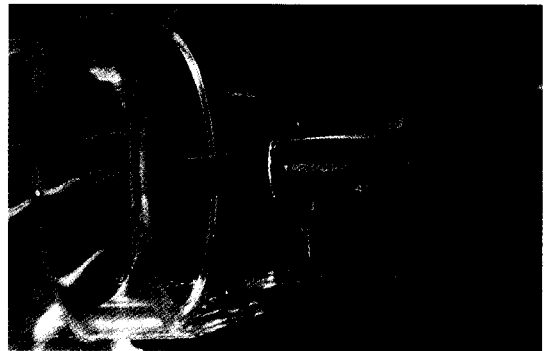


Fig. 5 Flow field in a plane passing through the centerline of the bypass passage and perpendicular to the air filter surface with a flow rate of 13 kg/hr (near bypass passage)

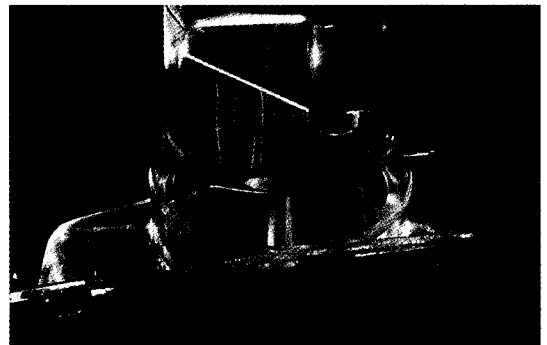


Fig. 6 Flow field in a plane passing through the centerline of the bypass passage and parallel to the air filter surface with a flow rate of 13 kg/hr



Fig. 7 Flow field in a plane perpendicular to the bypass passage centerline at 10 mm from the bypass inlet with a flow rate of 13 kg/hr

Fig. 5는 바이패스 근처 주유로에서의 유동을 나타내며 Fig. 4와 마찬가지로 커버의 위 면과 주유로에서 유동박리를 거의 찾아볼 수 없다. 한편 공기유량을 증가시킬수록 주유로의 아래 부분을 통과하는 유체는 Oscillatory flow의 특성을 보였으며, 이러한 비정상 유동은 박리지역 유동의 비정상(unsteadiness)과 서로 관계가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 공기유량 13kg/hr에서 바이패스 유로 중심선을 지나고 클리너엘리먼트 표면에 평행한 면에서의 유동장을 나타낸 것이다. 그림으로부터 주유로와 바이패스 부근에서 잘 정돈된 흐름을 관찰할 수 있으며 공기유량을 증가시켜도 측정면에서 유동은 다른 면에서보다 안정된 모습으로 관찰되었다. 또한 주유로의 날카로운 끝 부분을 따라 와류가 형성되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 공기유량 13kg/hr에서 바이패스 유로 중심선에 수직이고 바이패스 입구로부터 10mm 떨어진 면에서의 유동장을 나타낸 것이며 MAFS유닛 입구 중앙 부분에서 한 쌍의 와류 구조를 관찰할 수 있다. 이는 유동이 90도 꺾이는 에어클리너 후류 부분의 구조에 원인이 있는 것으로 판단되며 생성된 한 쌍의 와류는 바이패스 입구 부분에서도 계속 세력을 확장함을 관찰할 수 있다. 유량이 적을 경우는 MAFS유닛 상류 지역에서 발생하는 유동박리의 영향을 거의

찾아볼 수 없었으나 공기유량이 큰 경우는 MAFS유닛 입구 아래 부분에서 Recirculation region을 발견할 수 있었다.

3.2 LDV측정

개선된 커버의 유동 가시화를 정량적으로 해석하기 위하여 평균속도와 난류강도를 바이패스 입구로부터 30mm 떨어진 주유로의 레이디얼 평면(radial plane)에서 측정하였으며(Fig. 8), 측정 위치는 8mm 격자(grid), 공기유량의 범위는 50-240kg/hr로 하였다. 2개의 속도성분 중에서 u-속도성분은 측정면에 수직인 성분을 나타내고, v-속도성분은 클리너엘리먼트 표면에 수직인 성분을 나타낸다.

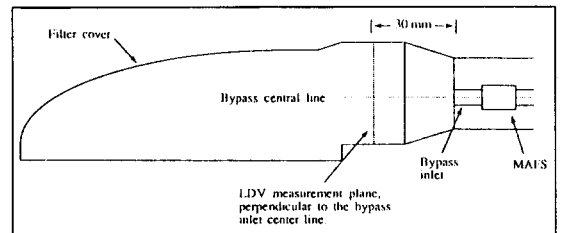


Fig. 8 Schematic showing LDV measurement plane

Fig. 9(a)와 9(b)는 공기유량 50kg/hr에서 u-속도성분의 평균값과 표준편차(standard deviation) 즉, 난류강도를 나타내고 있다(난류강도는 평균값에서 벗어난 크기의 제곱평균의 제곱근이다). 유동장의 특징은 MAFS유닛 양 측면과 아래 부분의 속도가 중간 부분과 비교하여 약간 큰 값을 나타낼 뿐만 아니라 큰 속도구배를 가지고 있는 것을 관찰할 수 있다. 또한 난류강도는 위 부분이 아래 부분에 비하여 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 이러한 현상은 바이패스유로의 정체지역 영향과 MAFS유닛 아래 부분 가장 자리에서 발생하는 유동박리에 원인이 있는 것으로 판단된다. 이러한 유동장의 특징은 공기유량의 변화에 관계없이 거의 일정하였다(Fig. 10(a), 10(b)). 양 측면의 측정위치 한계는 MAFS유닛의 기하학적 특징으로 인하여 위와 아래 부분에서 측정을 제약받았기 때문이다.

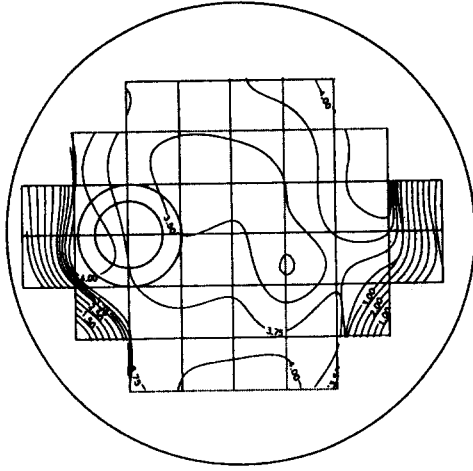


Fig.9(a) Mean velocity in m/s for 50 kg/hr (u-component)

특징은 u-속도성분과 같이 공기 유량이 낮은 경우와 비슷하며, 단지 속도와 난류강도의 크기만 변화하였다.

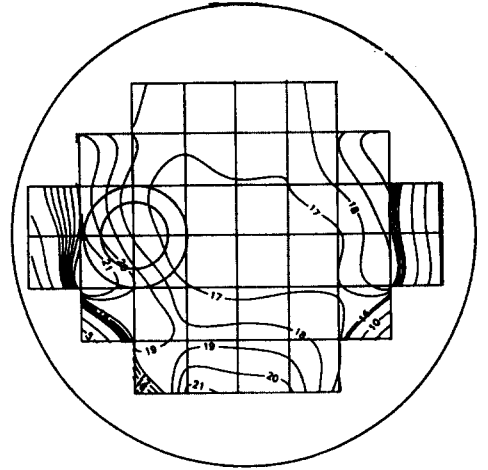


Fig. 10 (a) Mean velocity in m/s for 240 kg/hr (u-component)

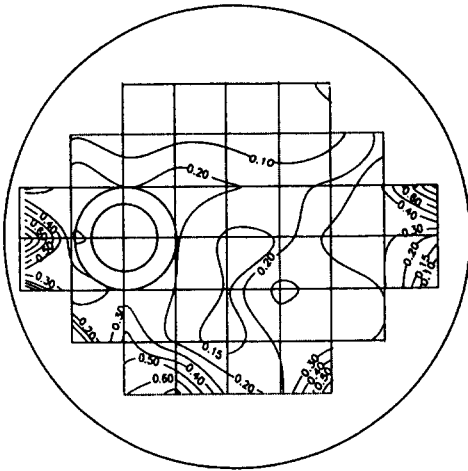


Fig. 9(b) Standard deviation in m/s for 50 kg/hr (u-component)

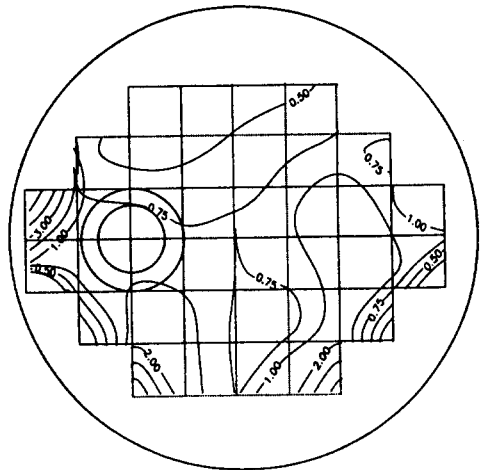


Fig. 10 (b) Standard deviation in m/s for 240 kg/hr (u-component)

Fig. 11(a)와 11(b)는 공기유량 50kg/hr에서 v-속도성분을 나타내고 있다. v-속도성분은 유닛의 위 부분으로 갈수록 감소하고 있으며 u-속도성분과 비교하여 최대 25%정도의 크기를 가지고 있다.

Fig. 12(a)와 12(b)는 공기유량 240kg/hr에서 v-속도성분을 나타내고 있다. 전체적인 유동장의

개선된 에어필터커버 내에서 유동장의 특징은 유량의 변화에 관계없이 거의 일정하였으며, 특히 MAFS유닛 아래 부분과 양 측면의 난류강도가 다른 부분에 비하여 높

게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

우 정확한 유량계측을 위해서는 형상 최적화를 통한 에어클리너 후류 부분의 설계는 필수적이다.

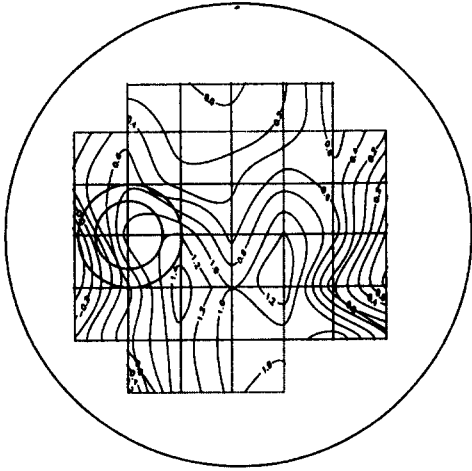


Fig. 11(a) Mean velocity in m/s for 50 kg/hr (v-component)

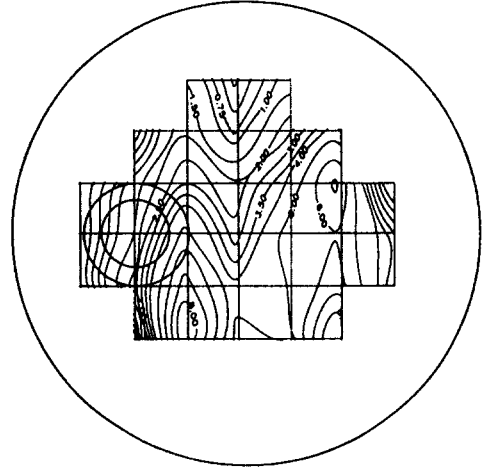


Fig. 12(a) Mean velocity in m/s for 240 kg/hr (v-component)

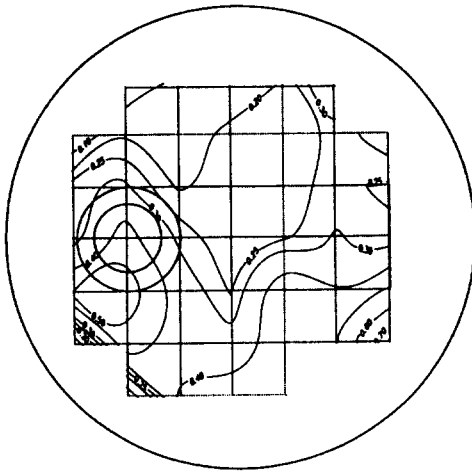


Fig. 11(b) Standard deviation in m/s for 50 kg/hr (v-component)

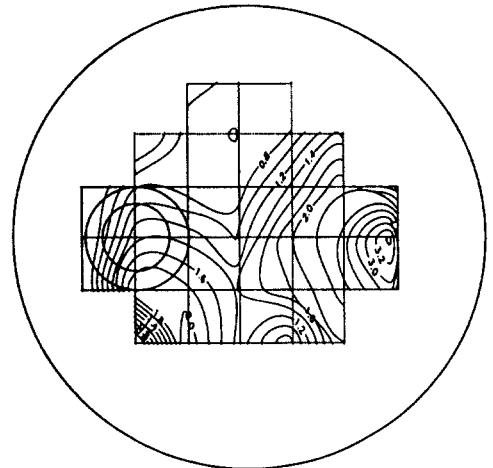


Fig. 12(b) Standard deviation in m/s for 240 kg/hr (v-component)

이것은 주어진 흡기계의 구조로부터 발생하는 필연적인 것이며 따라서 새로운 개념의 흡기계 설계를 필요로 하는 사항이다. 한편, 에어플로미터의 설치장소가 에어클리너 후류이어서 에어클리너에 직접 부착되는 경

본 연구에서 바이패스의 위치는 난류강도가 작고 매우 안정적인 유동상태를 보여주는 MAFS 유니트의 위 부분에 설치하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3.3 에어클리너커버에 따른 MAFS Output

Fig. 13~15는 자동차회사에서 실시된 실험결과를 나타낸 것이다. 유량 범위 8-500kg/hr에서 Transfer function의 평균 차이는 개선된 커버에서 약 0.5%이며, 원 사양 커버에서는 2%를 넘는다. Fig. 14는 원 사양 커버와 개선된 커버의 압력강하를 나타내고 있다. 흡기계의 압력손실은 형상 최적화를 통하여 개선할 수 있음을 명백히 알 수 있다. Fig. 15는 공기유량 변화에 따른 발생소음을 비교한 것으로서 소음도 형상 최적화를 통하여 조절이 가능함을 알 수 있다. 이와 같이 흡입 공기량 측정의 정확도는 흡기계의 형상 최적화를 통하여 개선할 수 있으며, 또한 불필요하게 발생하는 소음과 흡입에너지 손실도 줄일 수 있어 매우 비중 있게 다루어져야 할 것이다.

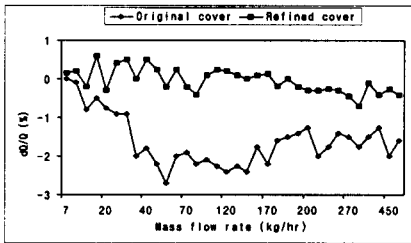


Fig. 13 Transfer functions for the cover

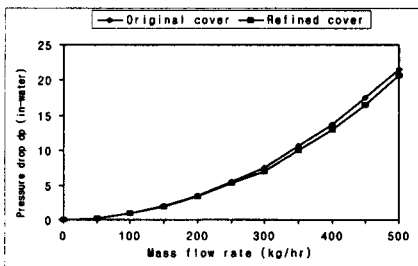


Fig. 14 Pressure drop vs. flow rate for the original cover and the refined cover

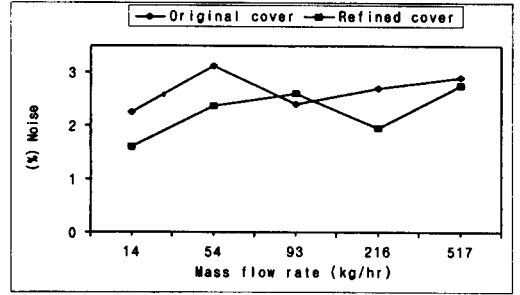


Fig. 15 Noise comparison of refined cover vs. original cover

4. 결론

MAFS유닛 내의 유동특성과 출력 그리고 에어클리너 후류 유동장의 관계를 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 원 사양 에어클리너 후류의 유동장은 비정상적인 매우 복잡한 난류 유동장이었다.
- 2) MAFS유닛 주유로 내의 유동에 큰 영향을 미치는 에어클리너 후류 부분을 형상 최적화를 통하여 재 설계함으로써, MAFS유닛 입구 부분의 불안정한 유동장을 제거하여 결과적으로 약 1.5%의 dQ/Q 와 압력손실을 줄이고 일부 유량구간에서 소음저감 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) 개선된 에어클리너커버를 사용할 경우 MAFS유닛 내의 공기 유동은 중앙 위 부분에서 매우 정숙함을 관찰할 수 있었다. 따라서 열선 장치가 내장되어 있는 바이패스를 중앙 위 부분에 설치하는 것이 바람직하다는 사실을 알 수가 있다.
- 4) 90도 꺾이는 유로 설계는 와류를 발생시키므로 특히 에어플로우미터 상류에서는 사용에 주의하여야 한다.

참고 문헌

- 1) W.G.Wolber, "Automotive Engine Control Sensor 80,"SAE 800121, 1980.

- 2) R. Sauer, "Automotive Air Flow Measurement," Proceedings of the International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA), Vol. 1, pp. 91-106, Wolfsburg, W.Germany, 1978.
- 3) A. Zias, "A New Approach to Flowmetering-Simple Mechanical Device Allows Use of Reasonably Specified Pressure Transducer for Flow and Total Volume Metering," SAE 760019, 1976.
- 4) R. Dell'Aqua and P. Vicini, "Ultrasonic Transducers for an Automotive Air Flow Meter," Presented at the First ISATA Sensor Study Group Meeting, Rome, Italy, 4/29-4/30, 1979.
- 5) R. Schledde, "Konstant-Temperatur-Anemometer," Messen und Pruefen/Automatik, pp. 679-683, 1980.